

# 一种基于视觉约束的当前视点画面生成方法<sup>\*</sup>

刘学慧<sup>1</sup> 孙汉秋<sup>2</sup> 吴恩华<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院软件研究所计算机科学开放研究实验室 北京 100080)

<sup>2</sup>(香港中文大学计算机科学与工程系 香港)

<sup>3</sup>(澳门大学科学技术学院 澳门)

E-mail: lxh@ox.ios.ac.cn

**摘要** 由于视点变化中画面可见性的变化以及在当前视点物体表面的扩张,仅由一幅带深度的源参考图像的三维重投影所得到的目标视点画面存在空洞问题。为此,人们采取多源参考图像的合成方法来解决此问题。如何从具有大量冗余信息的多幅源参考图像中快速提取当前目标视点所需信息,成为基于图像的虚拟环境建模和绘制的关键技术。该文给出一种从多幅源参考图像(目前仅两幅)合成当前视点画面的算法。算法结合正向映射及逆向映射技术完成对当前视点画面的合成,并且利用视觉约束-极线约束这一性质从其他源参考图像中寻找填补空洞的像素,从而避免了整幅参考图像的重投影过程及深度比较。同时,算法利用极线对上像素的排序特性和已有目标图像的信息加速填补空洞像素的搜索。算法在不增加原有图像映射算法复杂度的基础上,大大降低了原有多幅图像合成算法的计算量。

**关键词** 基于图像的虚拟环境建模和绘制技术,深度图,正向映射,逆向映射,极线约束。

**中图法分类号** TP391

基于图像的虚拟环境建模与绘制(IBMVR)技术以其简单快捷地获取环境、高度逼真地生成画面以及独立于虚拟环境的绘制效率受到人们的广泛关注,并成为当前计算机图形学、计算机视觉等领域的研究热点。基于图像的虚拟环境建模与绘制技术为具有高度真实感的复杂虚拟场景的建模以及实时漫游提供了一个有利的工具。

如何对整个虚拟环境的庞大光场数据进行采样并从已有的采样数据生成任意视点下虚拟环境画面是IBMVR技术得以实用的关键技术。作为第1个实用的基于图像的虚拟环境生成系统,QuickVRTime<sup>[1]</sup>向人们充分展示了IBMVR技术的应用前景。该系统利用在同一视点位置、不同视线方向所观察到的物体的可见性不变,以及在不同观察方向所观察到的虚拟场景画面之间可以简单地表示为一个二维射影变换的性质,将一组在相同视线位置、不同视线方向观察到的虚拟场景的二维画面拼接而生成该不见点处的圆柱面全景图,并以重投影完成视线方向连续变化下虚拟场景的实时绘制。但固有的二维性特点给该系统带来的是技术上无法克服的不足,即系统无法处理因视点位置变化而产生的画面可见性的变化以及因所观察物体的远近而产生的视差效果。

在观察者位置发生变化时,由于景物前后遮挡关系的改变,以及所观察物体的远近不同,所观察到的图形画面不再是原有参考图像的简单的二维齐次变换<sup>[2]</sup>。解决这一问题的有效办法是,在原有的图像序列中提供可见点的深度信息,以提供原始场景的部分三维信息。

Eric Chen在文献<sup>[3]</sup>中引入了图形深度,以正确地生成由于所观察物体的远近不同而产生的不同光流变化以及图像间的匹配关系,并以图像变形(morphing)技术线性插值,生成当前视点的虚拟场景画面。其后,McMillan在其具有系统性的“Plenoptic Modeling”<sup>[4]</sup>一文中以深度图的三维重投影描述了不同观察参数下画面的变换

\* 本文研究得到国家自然科学基金(No. 69873044)和 Research Grant of University of Macao(RG009/99-00S/WEH/FST)资助。作者刘学慧,女,1968年生,博士,主要研究领域为虚拟现实。孙汉秋,1960年生,助理教授,主要研究领域为图形用户界面交互动画,虚拟现实。吴恩华,1947年生,教授,博士生导师,主要研究领域为计算机图形学,可视化,虚拟现实。

本文通讯联系人:刘学慧,北京 100080,中国科学院软件研究所计算机科学开放研究实验室

本文 2000-02-28 收到原稿,2000-05-10 收到修改稿

关系. 三维透视重投影并不是一个线性变换, 只有在平行图像间线性插值才能正确模拟透视重投影. Seitz 等人<sup>[4]</sup>根据这一性质, 首先利用同视点下两图像间的二维射影变换关系将任意两幅源参考图像变换为平行图像, 然后线性插值正确模拟图像间的三维透视重投影. 然而, 正如以上算法所指出的, 深度图的三维重投影所带来的是由于视点变化所导致的景物前后遮挡关系的变化而引起的褶皱和空洞问题.

通常的 z-buffer 技术是处理褶皱问题的最直接方法, 但该方法将增加算法的开销. 如何利用已有图像的信息或视觉变化中的视觉约束对所观察画面进行排序, 无疑将大大减少算法的开销. McMillan<sup>[6]</sup>利用立体图对中的像素所对应的几何约束-极线约束成功地解决了由单幅参考图变换所产生的目标画面可见性问题.

由于投影区域的扩张以及视点变化中可见性的变化, 仅由一幅源参考图像得到的目标视点画面会存在空洞问题. 这是深度图像的三维重投影所带来的另一个问题. 对于前一种情况, 在物体表面色彩明暗变化不大的情况下, 人们可以采取相关像素的插值<sup>[5]</sup>、图像画面的网格化<sup>[7]</sup>、模板法<sup>[8]</sup>等方法来填补由于扩张而引起的空洞. 而第 2 种情况则是由于单幅图像只是整个虚拟场景在该视点下可见性的不完全间断采样所引起的 IBMR 技术的问题. 显然, 从多个临近视点画面可以得到空洞处的信息. 但将多个源参考图像逐一重投影到目标视点、运用 z-buffer 比较各图像像素深度合成得到目标视点画面的方法将使算法开销成倍地增长, 因为不同图像间存在着大量的信息冗余. 如何消除这些冗余并从大量信息中快速检取当前画面信息成为 IBMR 技术的一个瓶颈.

Shade 等人<sup>[9]</sup>提出了层次深度图概念(layered depth image map, 简称 LDI). 该方法将所有源参考图像的信息在预处理中合并到同一视点下, 在预处理中消除源参考图像中的冗余信息, 并将转换到同一像素位置的不同源参考图像中的像素按远近排序. 在当前视点画面生成时, 以 McMillan 的排序方法对不同深度的像素点从后向前顺序进行遍历即可生成当前视点画面. 该方法消除了多幅源参考图像的冗余信息, 且能完成空洞的修补, 但该方法从后向前遍历整个层次深度图, 这将会使算法受到场景复杂度的影响.

本文给出一种从多幅源参考图像(目前仅两幅)合成当前视点画面的算法. 算法不需建立层次深度, 而结合正向映射及逆向映射完成当前视点画面的合成, 并以视觉约束-极线约束来消除不同源参考图像中的冗余信息, 寻求参考图像间缺乏的信息, 填补三维重投影所产生的空洞. 算法在不增加原有图像映射算法复杂度的基础上, 大大降低了原有多幅图像合成算法的计算量.

### 1 相关概念及相关算法

这里, 我们给出算法用到的计算机视觉中的图像匹配极线约束概念和一些性质(如图 1 所示).

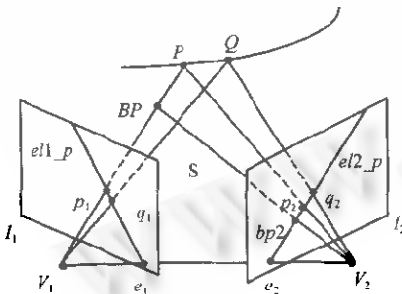


Fig. 1 Property of Stereo Vision  
图 1 立体视觉中的一些性质

定义 1. 用  $V_1$  与  $V_2$  两个摄像机同时观察空间点  $P$ . 如果我们确定, 该点在摄像机  $V_1$  成像平面  $I_1$  与在摄像机  $V_2$  成像平面  $I_2$  上的成像点分别为  $p_1$  和  $p_2$ , 我们称  $p_1$  与  $p_2$  为对应点.

定义 2. 如果  $p_1$  与  $p_2$  为对应点, 则由于  $p_1, p_2, P, V_1, V_2$  在同一平面  $S$  上,  $p_1$  与  $p_2$  分别位于  $S$  与两个图像平面  $I_1$  与  $I_2$  的交线  $el1-p$  与  $el2-p$  上,  $el1-p$  与  $el2-p$  称为  $I_1(I_2)$  图像上对应于  $I_2(I_1)$  图像上  $p_2(p_1)$  点的极线.

定义 3. 在  $I_2$  图像平面上的所有极线交于同一点  $e_2$ (如图 1 所示),  $e_2$  称为极点. 类似地, 在  $I_1$  图像平面上的所有极线交于  $e_1$  点.  $e_1$ (或  $e_2$ ) 是  $V_2$ (或  $V_1$ ) 在  $I_1$ (或  $I_2$ ) 图像平面上的投影点, 且  $V_1, V_2, e_1, e_2$  共线.

性质 1. 对应于点  $p_1$  在  $I_2$  上的极线  $el2-p$  是射线  $V_1 p_1$  在  $I_2$  上的投影, 且射线上空间点  $P, BP$  的前后顺序与空间点在图像平面  $I_2$  上的图像点  $p_2, bp_2$  的顺序相关(如图 1 所示).

性质 2. 若  $p_1$  与  $q_1$  点在极线  $el1-p$  上, 那么, 它们的对应点  $p_2$  和  $q_2$  必定也在极线  $el2-p$  上, 且  $p_2, q_2$  的排序基本能保持  $p_1, q_1$  的排序, 如果  $P, Q$  点的深度相差不大.

我们知道, 如果已知成像模型  $Pr_j$ (因为无法得到实拍图像的深度值, 我们的算法采用的是经 GL 函数库绘制生成的图像. 因而, 这里我们采用 GL 函数库中的投影矩阵. 在实拍图像中一般为线性针孔模型), 空间中任意

一点  $P(X, Y, Z)$  (该点在世界坐标系下的坐标值) 在图像平面上的投影位置  $p(u, v, z)$  可以用齐次坐标表示为

$$(u, v, z, w)^T = Pr_j * M * (X, Y, Z, 1)^T.$$

这里,  $z$  为空间点  $P$  在摄像机坐标系 (成像平面方向为  $u, v$  坐标轴方向, 以摄像机位置垂直成像平面的方向为  $z$  轴方向) 下的  $z$  坐标值 (这里我们称为深度值);  $M$  完全由摄像机相对于世界坐标系的方位决定, 是世界坐标系到摄像机坐标系的转换矩阵.

那么, 根据不同摄像机的方位, 我们可以得到空间任意一点  $P$  在不同图像平面上的投影位置的转换关系矩阵

$$(u_1, v_1, z_1, w_1)^T = Pr_{j1} * M_1 * Pr_j^{-1} * M_2^{-1} * (u_2, v_2, z_2, 1)^T. \quad (1)$$

所谓正向映射即利用这种转换关系矩阵, 将已有源参考图像重投影至当前摄像机的成像平面, 生成当前视点的成像画面 (下面简称目标图像). 因此, 正向映射只需扫描源参考图像一遍, 其算法复杂度即为  $O(n)$  (这里  $n$  为源参考图像像素数), 并且, 根据性质 1, 源参考图像极线上像素的排列反映了落在目标图像上一点的所有空间点的前后排序 (如图 1 所示). McMillan<sup>[6]</sup> 根据这种性质, 给出了单一源参考图像上像素的简单排序 (如图 2 所示), 从而使得在正向映射过程中, 算法只需将源参考图像像素按此顺序投影到目标图像, 而不需  $z$ -buffer 比较就能得到当前视点正确的可见图像. 然而, 多幅源参考图像上的像素无法形成这样的简单排序, 因此, 多幅源参考图像的合成只能采用深度比较或生成层次深度图方法, 算法计算量无疑大大增加.

而所谓逆向映射, 即目标图像到源参考图像的转换, 由于无法知道所观察到的物体相对于当前摄像机的深度值, 逆向映射无法利用以上转换矩阵求取目标图像与源参考图像的对应关系并生成当前视点画面. 然而, 根据极线的定义, 我们知道目标图像上的一点在源目标图像上的对应点必定落在其相应的极线上, 因而逆向映射可以在源参考图像的相应极线上进行搜索, 求取目标图像像素点的对应点. 尽管如此, 逆向映射算法复杂度仍为  $O(n^2)$ <sup>[3]</sup>. 然

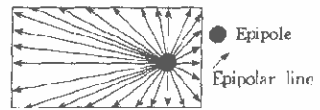


Fig. 2 McMillan's reference pixel ordering method when epipole's  $z$  is negative  
图 2 当极点的  $z$  值为负时, McMillan 对源参考图像像素的排序

而, 在生成目标图像的意义下, 逆向映射的复杂度仅与生成图像的分辨率有关, 在以多幅源参考图像合成当前视点画面的情形下, 逆向映射具有正向映射所不具有的潜在优越性<sup>[10, 11]</sup>. 另一方面, 在连续表面的情况下, 如果可以得到当前视点画面的深度值, 逆向映射可以插值源参考图像, 从而避免第一类空洞的产生. 文献[9]即根据这一特性, 利用正向映射的快速算法得到目标图像的深度值, 然后结合逆向映射完成第一类空洞的填补, 并消除由于采样不足所产生的图像混叠现象.

这里, 我们给出一种从多幅源参考图像 (目前仅两幅) 合成当前视点画面的算法. 算法结合正向映射及逆向映射, 完成当前视点画面的生成. 首先运用 McMillan 的排序算法将源参考图像 1 正向映射至当前视点成像平面, 得到不完整的带有非连续空洞信息的目标图像. 然后根据已有的目标图像信息, 利用逆向映射从其他源参考图像中搜索填补空洞的像素, 从而避免其他源参考图像的整幅重投影过程及深度比较. 同时, 算法充分利用极线上像素的排序特性和已有目标图像的信息加速填补空洞像素的搜索.

## 2 基于视觉约束的当前视点画面生成算法

### 2.1 算法描述

#### 算法.

Step 1. 以 McMillan 的排序扫描源参考图像 1, 正向映射该源参考图像至目标图像.

Step 2. 扫描目标图像, 如果是空洞点, 逆向映射在源参考图像 2 上求取匹配该空洞点的像素, 填补该空洞点 (如图 3 所示). 假设  $V_1, V_2, V_D$  分别为源参考图像视点及目标视点,  $I_1, I_2, I_D$  为相应的投影平面.  $pd$  为目标屏幕上经源参考图像 1 正向映射求取目标视点画面后所遗留下的空洞点.

根据极线约束, 从目标视点通过屏幕点  $pd$  所能看到的所有可能的空间点必然落在由目标视点  $V_D$  发出的、经屏幕点  $pd$  所形成的射线上. 而这些空间点在源参考图像 2 屏幕上的投影落在  $I_2$  图像上对应于  $I_D$  图像点  $pd$  的极线  $el2-p$  上, 且这些空间点的前后顺序与空间点在图像平面  $I_2$  上图像点的顺序相关 (性质 1). 可以看出, 算

法只需扫描图像两遍,而算法效率的关键在于,如何快速搜索源参考图像 2 极线的像素点,以求取目标图像中相应空洞点的匹配像素点.

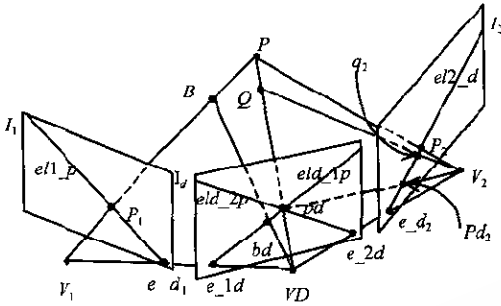


Fig. 3  
图3

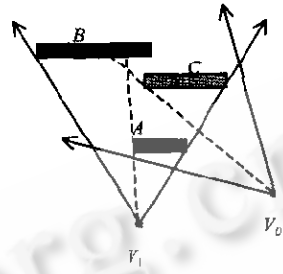


Fig. 4  
图4

### 2.2 空洞填补算法

McMillan 曾给出逆向映射寻找目标图像像素匹配点的匹配算法<sup>[6]</sup>. 该匹配算法利用重投影公式,计算出目标图像上的一点在源参考图像上的所有可能对应点所具有的最大和最小深度值,然后插值计算出确定一点所必须具有的深度值. 如果该计算值在误差范围与该点的实际深度值相等,则该源参考图像点为目标图像的匹配点. 虽然该匹配算法简单明了,但其实际的计算量与重投影的计算量是一样的,而且,由于仅在源参考图像上进行深度的比较,算法无法利用目标图像上已存在的信息. 因而,我们仍利用重投影公式计算出源参考图像上一点是否落在目标图像上的目标点,以此判定像素的匹配,寻求填补空洞的相应像素.

假设目标视点通过屏幕点  $pd$  看到的是空间点  $P$ (如图 3 所示),它在源参考图像 2 上相应为  $p_2$ . 算法即如何以一定方向从极点  $e_2$  搜索极线  $el2-p$  上的像素点,直至第 1 个投影落在目标像素点  $pd$  上的像素点  $p_2$  为止. 根据性质 1,此像素点相应的空间点必然是当前视点通过屏幕点  $p$  看到的最近空间点.

可以看出,以上算法的时间耗费在从  $e_2$  到  $p_2$  的搜索上. 如果可以找到某一起始像素点  $s_2$ ,使其尽量靠近  $p_2$ ,那么搜索时间将大大降低. 例如,以屏幕点  $pd$  的相应空间点坐标投影到源参考图像  $I_2$  上的点  $pd_2$  为搜索起始点,就比以极点  $e_2$  为起始点的搜索时间短. 因此,算法效率的提高关键在于对像素点  $p$  的  $z$  值的估计上.

### 2.3 填补空洞的加速搜索算法

从性质 2 我们知道,空洞区域(特别是由同一物体填补的空洞区域)中的像素点在源参考图像 2 上的对应点基本上能保持一定的顺序. 因而,对空洞内部填补像素的搜索可以在已搜索到的空洞边缘填补像素的周围进行搜索,即可得到在源参考图像 2 上的填补像素. 因此,搜索的关键在于空洞边缘像素点的初始  $z$  值的估计.

我们知道,目标图像中空洞的出现是因为在当前视点看到了源参考图像  $I_1$  中所看不到的一点,而且必定是源参考图像  $I_1$  看到的一点遮挡了该点(如图 3 所示). 假设源参考图像  $I_1$  中遮挡  $P$  点的空间点为  $B$ ,其在目标图像上相应的像素点  $bd$  可以从目标图像点  $pd$  沿极线  $el2-p$  的逆向搜索一个像素点距离得到. 以上假设得以实现的关键在于:极线的方向指明了空洞边缘的哪些像素点为遮挡该像素的像素点(如图 3 所示). 这是性质 1 所决定的.

所以,本算法在目标图像上的极线  $el2-p$  上的遍历方向应由极线  $el2-p$  的逆向决定,使得算法在遇到空洞边缘时,可以沿极线  $el2-p$  逆向搜索一个像素,得到在源参考图像 1 中遮挡目标图像可见点的点的  $z$  值. 可以证明,该  $z$  值是可以估计的最接近像素点  $pd$ ,且小于该点的实际  $z$  值的最大  $z$  值(如图 3 所示). 假设对应于此极大  $z$  值的空间点为  $Q$ ,则此点在源参考图像  $I_2$  上的投影为  $q_2$ . 算法即从该像素点沿一定方向向  $p_2$  搜索.

当然,可能在目标图像中  $B$  点不可见,即它为更近的可见点所遮挡,那么,沿极线方向搜索一个像素点距离得到的像素点的  $z$  值必然不会大于像素点  $p$  的  $z$  值.

然而,以上算法没有考虑如图 4 所示的情况. 由于视点变化较大或遮挡物过小,沿极线方向搜索一个像素点距离得到的像素点可能并不是遮挡目标图像可见点的点,而是在视点变化过程中原有的背景物体  $B$  绕过前景

成为目标图像上邻接空洞边缘的可见点.

根据性质 2 我们知道,  $B, C$  在源参考图像 2 上的排序基本上保持它们在目标图像上的排序. 因而, 算法在源参考图像 2 上的搜索并不是沿一个方向一直走到底, 而是沿起始  $z$  值相应的源参考图像 2 上的像素点  $q_z$  的前后进行寻找.

综上所述, 我们首先以 McMillan 的排序第 1 遍扫描源参考图像 1; 然后以相反于该排序的顺序扫描目标图像, 求得从源参考图像 1 得到的信息在源参考图像 2 相应的极线上在起始搜索点前后搜索填补空洞的点, 完成当前视点画面的生成.

### 3 实验结果

我们实现了以上算法, 并取得了较好的效果. 这里给出算法实现中两处源参考图像图 5、图 6 和图 9、图 10. 图 7 和图 11 是经由单一源参考图像正向映射得到的不同当前视点的目标图像. 图 8 和图 12 为最后合成的目标图像. 从单一源参考图像正向映射得到的目标图像与最后合成的目标图像对照中可以看出, 图 7 和图 11 中的空洞区域是非连续的, 算法不仅可以完成第一类空洞的填补, 而且可以实现第二类空洞的填补. 可以看到, 目标图像中仍有少许空洞, 这是因为在源参考图像中皆没有提供该处的信息, 这可以从源参考图像中比较而得到. 整个算法的执行时间对各幅效果图基本上能保持在 5 帧/s.

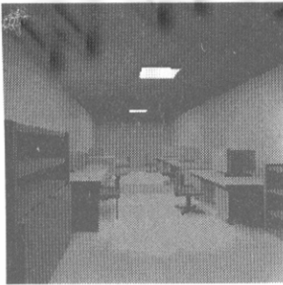


Fig. 5 Reference image 1  
图 5 源参考图像 1

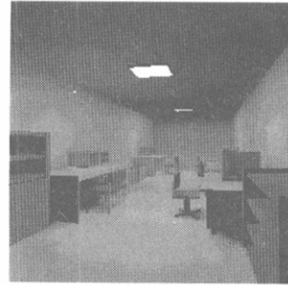


Fig. 6 Reference image 2  
图 6 源参考图像 2

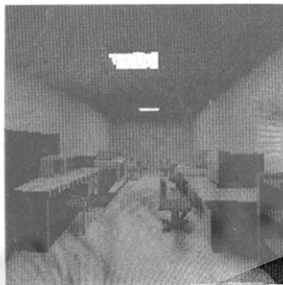


Fig. 7 Destination image 1 warped from reference image 1

图 7 从源参考图像 1 正向映射得到的目标图像 1

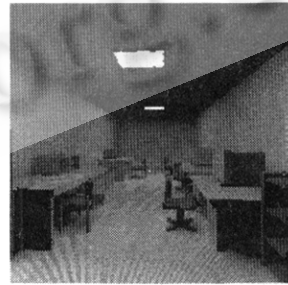


Fig. 8 Destination image 1 with hole filled

图 8 空洞填补后的目标图像 1

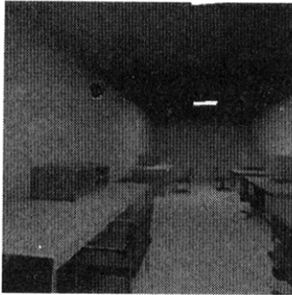


Fig. 9 Reference image 3  
图 9 源参考图像 3

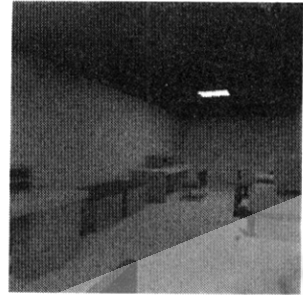


Fig. 10 Reference image 4  
图 10 源参考图像 4

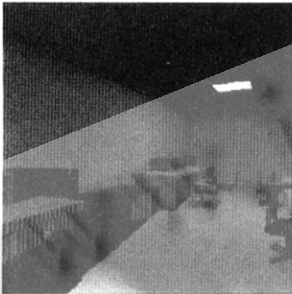


Fig. 11 Destination image 2 warped from  
reference image 3

图 11 从源参考图像 3 正向映射得到的目标图像 2

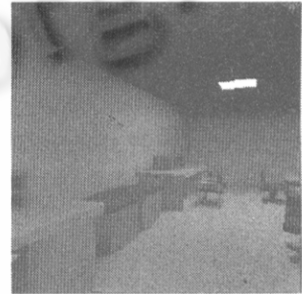


Fig. 12 Destination image 2  
with hole filled

图 12 空洞填补后的目标图像 2

#### 4 结 论

本文给出一种从多幅源参考图像(目前仅两幅)合成当前视点画面的算法.算法结合正向映射及逆向映射技术完成当前视点画面的合成.算法利用视觉约束-极线约束这一性质从其他源参考图像中寻找填补空洞的像素,从而避免了整幅参考图像的重投影过程及深度比较.同时,算法利用极线对上像素的排序特性和已有目标图像的信息加速填补空洞像素的搜索.算法在不增加原有图像映射算法的复杂度上,大大降低了原有多幅图像合成算法的计算量.

#### 参考文献

- 1 Chen S E. Quick-Time VR——an image-based approach to virtual environment navigation. In: Cook R ed. Proceedings of the SIGGRAPHICS'95. Los Angeles, CA: ACM SIGGRAPH, 1995. 29~38
- 2 Debevec P, Gortler S, McMillan L *et al.* Projective image warping. In: Cohen M ed. SIGGRAPH'98 Course Notes 15: Image-Based Modeling and Rendering. Orlando, FL ACM SIGGRAPH, 1998
- 3 Chen S E. View interpolation for image synthesis. In: Kajiyia J T ed. Proceedings of the SIGGRAPH'93. Anaheim, CA: ACM SIGGRAPH, 1993. 279~288
- 4 McMillan L, Bishop G. Plenoptic modeling: an image-based rendering system. In: Cook R ed. Proceedings of the SIGGRAPHICS'95, Los Angeles, ACM SIGGRAPH, 1995. 39~46
- 5 Seitz S M, Dyer C R. View morphing. In: Rushmeier H ed. Proceedings of the SIGGRAPHICS'96. New Orleans, Louisiana: ACM SIGGRAPH, 1996. 24~33
- 6 McMillan L. An image-based approach to three-dimensional computer graphics [Ph. D. Thesis]. University of North Carolina, 1997
- 7 Mark W R, McMillan L, Bishop G. Post-Rendering 3D warping. In: Proceedings of 1997 Symposium on Interactive 3D Graphics. Providence, RI, 1997. 7~16. <http://www.cs.unc.edu/~gb/bishop-publications.html>

- 8 Gortler S J, He Li-wei, Cohen M F. *Rendering layered depth images*. Technical Report #97~09, Microsoft Research, 1997
- 9 Shade J, Gotler S, He Li-wei *et al.* Layered depth images. In: Cohen M ed. *Proceedings of the SIGGRAPHICS'98*. Orlando, FL: ACM SIGGRAPH, 1998. 231~241
- 10 Laveau S, Faugeras O. 3-D scene representation as a collection of images. In: Fisher S S, Merritt J O, Bolas M T eds. *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems II*, SPIE Proceedings 2409. San Jose, CA, 1995. 21~30
- 11 Chang L W. *Combining multiple reference images in an inverse warper*[Ph. D. Thesis]. Cambridge, MA: MIT Press, 1998

## A Method of Image Synthesis for Novel Viewpoints Based on Vision Constraints

LIU Xue-hui<sup>1</sup> SUN Han qiu<sup>2</sup> WU En-hua<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>(Laboratory of Computer Science Institute of Software The Chinese Academy of Sciences Beijing 100080)

<sup>2</sup>(Department of Computer Science & Engineering Chinese University of Hong Kong Hong Kong)

<sup>3</sup>(Faculty of Science & Technology University of Macao Macao)

**Abstract** Due to the visibility change and surface enlargement in the new view as viewpoint moves, 3D re-projection from just one reference image inevitably produces holes in the destination image. In tackling the problem, a common solution is to conduct image synthesis from multiple reference images. However, how to extract the information needed in the novel view from these images with plenty of redundance information becomes one of the key techniques in image-based modeling and rendering. In this paper, a new method of image synthesis from multiple (currently two) reference images is proposed. The method combines forward warping and inverse warping to fulfil the image composition task for a novel viewpoint. In the algorithm, vision constraint-epipolar constraint is employed to search the pixel from other reference images in filling the hole, so as to avoid depth comparison and re-mapping of the whole reference image. Besides, the searching process is accelerated by taking advantage of pixel ordering on pairs of epipolar lines and the information already in the destination image. Without increasing the complexity of previous warping method, this algorithm greatly reduces the computation required in image synthesis from multiple reference images.

**Key words** Image-based modeling and rendering, depth-image map, forward warping, reverse warping, epipolar constraint.